

透水層埋設による地下水位低下の波打ち帯の漂砂に及ぼす影響

Characteristics of Swash Sediment Transport on Permeable Layer Beach

室蘭工業大学大学院 ○学生員 山口 俊哉(Toshiya Yamaguchi)
室蘭工業大学大学院 学生員 宮武 誠(Makoto Miyatake)
室蘭工業大学 フェロー 藤間 聡(Satoshi Tohma)

1. はじめに

透水層埋設工法は、波の遡上により砂層内に浸透した海水を透水層内に導き、沖側に自然排水させ、前浜侵食を軽減させる地下水位低下による海浜保全工法である。透水層は砂層内に埋設されるため、従来の海岸保全工法に比べ、漂砂を遮断することなく、天然の砂浜海岸と同様な海浜利用及び環境を保持しながら汀線を前進させる有効な工法である。著者らはこの透水層の配置に関し、海浜保全効果や前浜地下水特性の面から、断面及び平面の最適諸元について検討した。この規定された配置を基に現地海岸に透水層を埋設する場合、将来生じるであろう海浜変形を予測・評価することが必要不可欠である。

本研究は、地下水の浸透・浸出を考慮した波打ち帯の漂砂量を力学的に評価する解析法を提案する。この解析法を用いて、前浜地下水が波打ち帯の漂砂量及び向きに及ぼす寄与の程度を明らかにし、透水層埋設時の前浜地下水位低下による侵食軽減量を定量的に評価する。

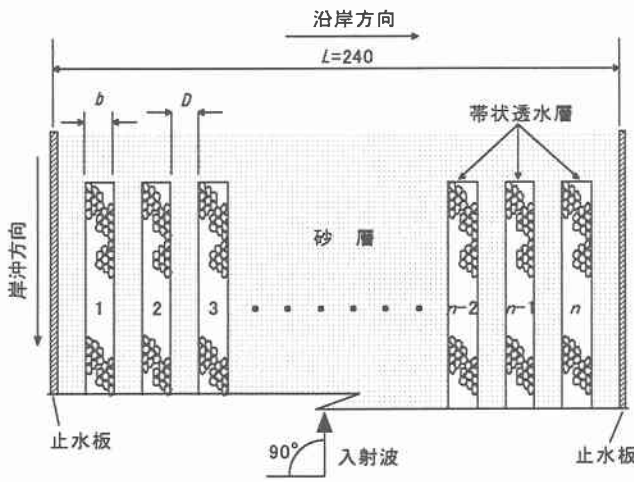


図-1 実験装置の概要図(単位: cm)

表-1 透水層の埋設条件

ケース	透水層の有・無	埋設密度 (%)	層幅 b (cm)	間隔 D (cm)
Case-1	なし	—	—	—
Case-2	あり	33.3	10	20
Case-3	あり	66.7	40	20
Case-4	あり	83	100	20

2. 透水層埋設による波打ち帯の漂砂特性に関する実験

2.1 実験装置及び方法

実験は、スネーク式ピストン造波機を有する長さ20m、幅8m、高さ70cmの三次元水槽に長さ8m、高さ70cm、天端幅1mを有する海底勾配1/10の砂浜模型を作製して行った。この砂浜模型の底質材料には、中央粒径 $d=0.1\text{mm}$ 、比重 $s=2.67$ の珪砂を用い、同砂の透水係数は $k=1.44 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ である。測定は、地下水位、地形断面変化、遡上波先端位置をそれぞれ水位計、砂面計、デジタルビデオカメラを用いて行った。実験で用いる入射波は、波高 $H_0=10\text{cm}$ 、周期 $T=1.3\text{s}$ の規則波を4時間直角入射させた。

2.2 実験条件

砂層内に埋設する透水層は、中央粒径10mmの碎石をフィルタ材で被覆したものとし、透水係数は、 1.27cm/s である。この透水層の最下端部は、透水パイプを用い排水部を構成した。この透水層は図-1に示すように沿岸方向にある層幅 b と設置間隔 D を有する帯状に埋設する。実験は、透水層なしと埋設区間に対する透水層の占める割合を表す埋設密度を33.3, 66.7, 83%について行った。ここに、透水層の埋設条件を表-1に示す。

3. 漂砂へ作用する外力に関する解析

3.1 遡上波先端流束及び地下水位流束の算定

実験で得られた遡上波先端位置と地下水位を用い、遡上波先端流束及び地下水の浸透・浸出流束を算定する。算定には、流向の異なる遡上波先端流束と地下水の浸透・浸出流束をスカラー量で取り扱うエネルギー法を用いる。

図-2に示す波打ち帯の水理モデルにおいて、 N 波目の波が遡上している時(図中C点)の静水位からの高さ η_N と、 N 波目の入射波が最大到達点(図中A点)に達した時の高さ η_{Nmax} には、下記のエネルギー平衡式が成立する。

$$\frac{q_w^2}{2} + g\eta_n = g\eta_{Nmax} \tag{1}$$

ここに、 g は重力加速度、 q_w は遡上波先端流束で、遡上時及び引き波時において正とする。また、 q_w は遡上波エネルギーの消長が地下水の浸透・浸出流束によって生じるものとし、次式で表す。

$$q_w = q_0 + w \tag{2}$$

ここに、 q_0 は不透過斜面における遡上波先端流束、 w は地下水の浸透・浸出流束であり、浸透方向を負、浸出方向を正とする。浸透・浸出流束は、地下水位より上部の砂層を不飽和、下部を飽和として次式で算定する。

$$w = -S_y(\psi_N) \frac{\partial \psi_N}{\partial t} \quad (3)$$

ここに、 $S_y(\psi_N)$ は砂層内外に浸透・浸出する割合を表す比浸出量、 ψ_N は斜面上の地下水位から遡上波先端までの高さを表す毛管水頭である。不飽和部に対する比浸出量は、水分保持曲線により算定する。

3.2 無次元掃流力の算定

遡上波による掃流及び地下水の浸透・浸出による揚力により発生する漂砂量及び向きを透過性斜面の無次元掃流力により評価する。透過斜面の無次元掃流力は、不透過斜面の無次元掃流力に地下水の浸透・浸出による無次元揚力を付加した次式で求める。

$$\Phi_w = \Phi_0 + \Phi_s \quad (4)$$

式中の Φ_0 は不透過斜面の無次元掃流力、 Φ_s は、地下水の浸透・浸出による無次元揚力を示す。

無次元掃流力 Φ_0 は、図-2のC点において不透過斜面とした場合、次式のシルズ数により評価する。

$$\Phi_0 = \frac{\tau_0}{W} = \frac{|q_{0\text{Ner}}| |q_{0\text{Ner}}|}{(s-1)gd} \quad (5)$$

ここに、 τ_0 は不透過斜面上の砂粒子に作用する遡上波掃流力、 W は砂粒子の水中自重、 g は重力加速度、 s は砂粒子の比重($=\rho_s/\rho_w$)、 d は中央粒径、 $q_{0\text{Ner}}$ は(2)式より算定した不透過斜面の遡上波先端流束の正味量を表し、沖方向に正、岸方向に負とする。

(4)式中の無次元揚力 Φ_s は、地下水の浸透・浸出流束が前浜砂層の安定・不安定化に寄与することを考慮して、(3)式で求めた地下水流束を砂粒子の水中自重で除した次式で表す。

$$\Phi_s = \frac{w_{\text{Ner}}}{k} \frac{1}{\cos \beta} \left(\frac{\tan \Phi}{\tan \Phi - \tan \beta} \right) / (s-1) \quad (6)$$

ここに、 k は透水係数、 w_{Ner} は(3)式より算定した地下水の浸透・浸出流束の正味量を表し、浸出方向に正、浸透方向に負とする。

4. 透水層埋設による海浜安定化効果

4.1 海浜変形

図-3は、自然海浜及び埋設密度83%の実験終了時の縦断地形変化及び地下水位を示す。透水層がない場合に上昇した地下水位は、透水層を埋設した結果ほぼ静水位まで低下したため、前浜域の侵食深及び侵食される区間は自然海浜時に比べ大幅に減少する。

4.2 岸沖漂砂分布

図-4は漂砂活動が活発な造波開始20分後の岸沖漂砂分布を示す。図中には自然海浜と埋設密度83%のものを表示する。岸沖漂砂量は実験で得られた地形変化量から次式の連続式を用いて求めた。

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-n} \frac{\partial q}{\partial x} \quad (7)$$

ここに、 h は地形変化量、 n は空隙率、 q は漂砂量を示し。

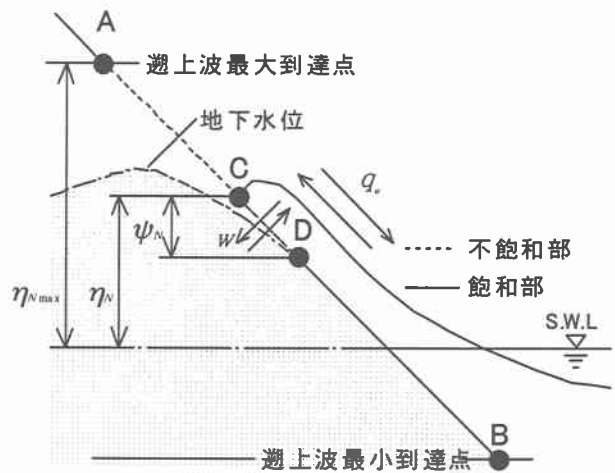


図-2 波打ち帯の水理モデル概要図

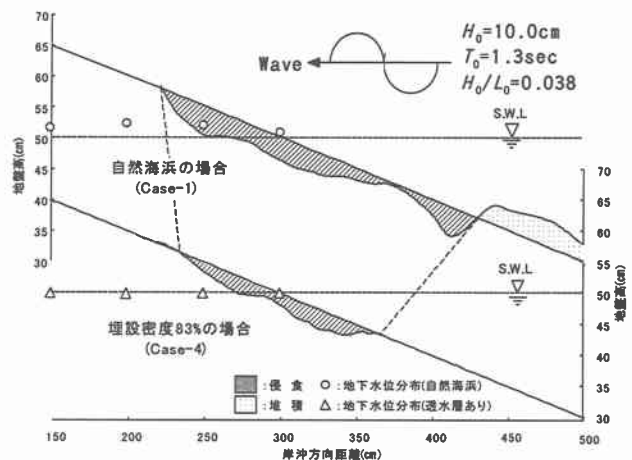


図-3 縦断地形変化及び地下水位

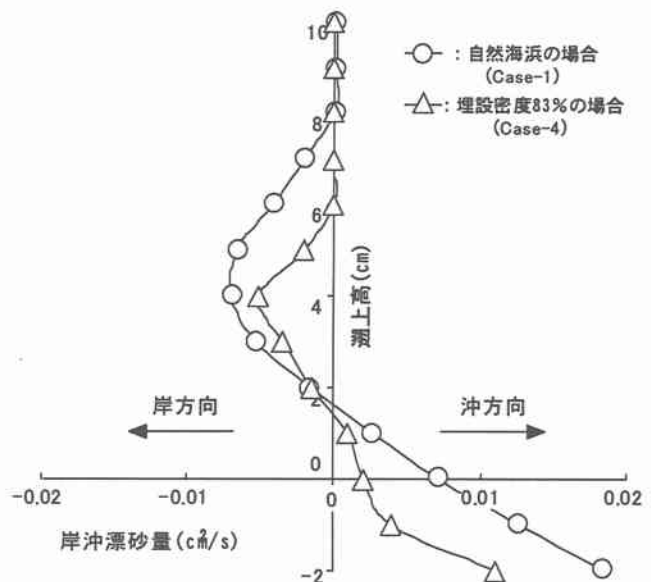


図-4 遡上高と岸沖漂砂分布との関係

岸方向を負、沖方向を正とする。岸沖漂砂分布は自然海浜及び透水層埋設時でともに同一の分布形状となり、遡上高の減少に伴い岸方向から沖方向に向きを転じる。しかし透水層を埋設した場合、地下水位低下により底質砂自重が増大するため、岸向き及び沖向きの岸沖漂砂はともに自然海浜時に比べ減少することが認められる。本研究では岸沖漂砂量に及ぼす透水層の効果を6章において力学的に検討する。

5. 自然海浜における波打ち帯の漂砂発生機構

波打ち帯の漂砂の発生は、波の遡上波掃流及び地下水の浸透・浸出流に起因するものと考え、この2つについて以下で検討を行う。

5.1 遡上波先端流束及び地下水の浸透・浸出流束

図-5は前述の(5)式により算定した自然海浜における遡上波及び引き波の先端流束分布を示す。図中には遡上時と引き波時を表示する。遡上波先端流束は、遡上時、引き波時とともに遡上高の低下に伴い増加する。これより遡上波の掃流により発生する漂砂の向きを考えた場合、遡上波先端流束は、正味の漂砂量がほぼ零となり、図-4に示す岸沖漂砂分布と一致しない。従って、遡上波掃流のみでは図-3のような波打ち帯の侵食は発生しないものと考えられる。

図-6は、自然海浜における地下水の浸透・浸出流束分布を示す。浸透及び浸出流束はそれぞれ図中の矢印に示す遡上、流下方向に増加する。そのため、静水時汀線付近では、浸出流束は浸透流束に比べその絶対量は大きくなる。この結果、砂層表面では浸出流束により上向きの揚力が作用し、浮遊砂の発生を助長させる。これは図-4における沖向きを示す岸沖漂砂の傾向と一致する。従って、地下水の浸出流束は漂砂を沖向きに増大させ、波打ち帯の侵食を発生させているものと考えられる。この地下水の浸透・浸出流束が波打ち帯の侵食に与える影響を以下に示す無次元掃流力を用いて検討する。

5.2 無次元掃流力

図-7(a)は、不透過斜面の無次元掃流力を示す。無次元掃流力は、遡上高の減少に伴い沖向きから岸向きへと向きを転じる。図-7(b)は地下水の浸透・浸出による無次

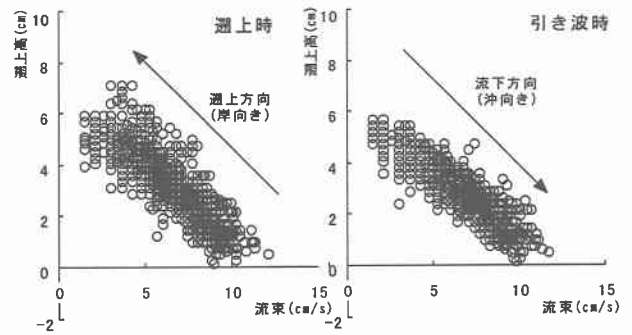


図-5 遡上波先端流束分布 (Case-1)

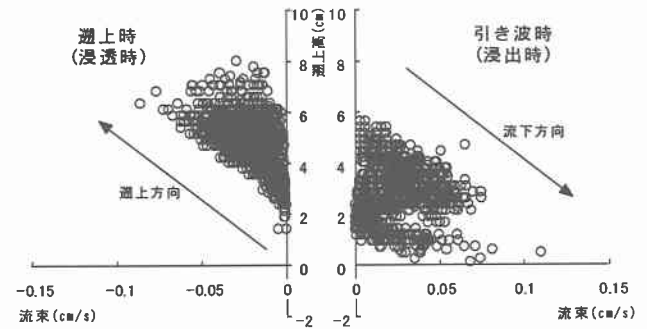


図-6 地下水の浸透・浸出流束分布 (Case-1)

元揚力を考慮した透過斜面の無次元掃流力を示す。地下水の浸透・浸出の影響を考慮した結果、透過斜面の無次元掃流力は、遡上高の減少に伴い岸向きから沖向きへと転じ、同図(a)に示す不透過斜面の無次元掃流力と逆の傾向を示す。図-8は、図-4に示した自然海浜の岸沖漂砂分布を示す。これより、遡上高の減少に伴い岸向きから沖向きへと転じる岸沖漂砂分布は図-7(b)に示す透過斜面の無次元掃流力の傾向と一致する。この結果、地下水の浸透・浸出は、波打ち帯の岸沖漂砂に大きな影響を与えることが認められる。

6. 透水層埋設による漂砂特性の変化

透水層埋設による前浜地下水位の低下が波打ち帯の侵食を軽減させる効果について検討する。

6.1 遡上波先端流束及び地下水の浸透・浸出流束

透水層を埋設した場合、遡上波先端流束は、自然海浜と

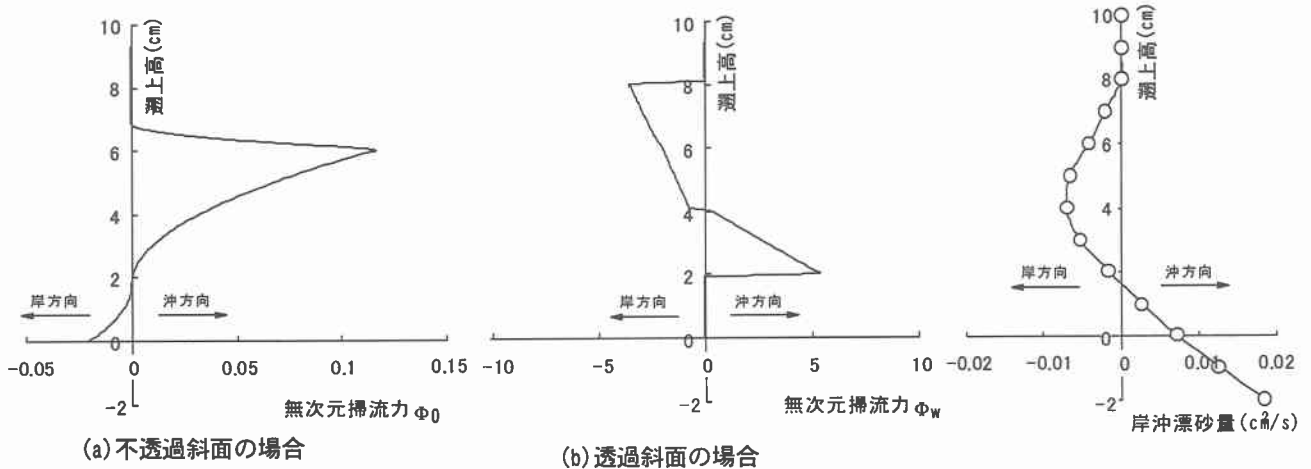


図-7 不透過・透過斜面の無次元掃流力と遡上高の関係

図-8 岸沖漂砂分布

同様に遡上時と引き波時の差し引きがほぼ零となる。図-9は、透水層の埋設密度83%時における地下水の浸透・浸出流束分布を示す。浸透・浸出流束は、透水層埋設による地下水位低下により図-6に示す自然海浜時よりも低い位置から発生する。遡上時の浸透流束は自然海浜よりも大きくなり、引き波時の浸出流束を抑制する。これは透水性に優れた層を砂層内に埋設した結果、前浜域の浸透効果が高まったことに起因する。この浸透流束の増加は、汀線付近の浮遊砂の発生を抑制し波打ち帯の侵食を大幅に軽減させている。

6.2 透水層埋設による無次元掃流力

図-10(a)は、図-7(b)に示した自然海浜と埋設密度83%の透過斜面上の無次元掃流力について比較したものである。透水層を埋設した場合、岸向き掃流力が最大となる高さは、遡上波最大到達点の低下により1/2程度となり、この地点において自然海浜と比較すると透水層埋設時の方がほぼ2倍大きくなる。一方、沖向き掃流力の発生位置はほぼ同一な高さから発生し、その大きさは自然海浜時の約1/2に低下する。図-10(b)は図-4に示した自然海浜と埋設密度83%の岸沖漂砂分布を示す。これより透水層埋設により汀線での沖向き漂砂量は1/2に抑制されており、図-10(a)の傾向と一致する。従って、地下水の浸透・浸出を考慮した本解析法は、透水層埋設による地下水位低下が波打ち帯の地形変化を軽減させる効果を評価することができる。

図-11は、埋設密度と掃流力比及び侵食率の関係を示す。ここで掃流力比は自然海浜に対する透水層埋設時の沖向きの無次元掃流力の最大値の比で示し、侵食率は、自然海浜に対する透水層埋設時の侵食量の比とする。侵食率は埋設密度の増加に伴い低下し、その低下率は66.7%以上になると顕著となり、埋設密度83%で最大となる。これは掃流力比においても同様な傾向が認められる。従って、本解析法は、透水層埋設による地下水位低下が波打ち帯の侵食を軽減する効果を定量的に評価することができる。

7. 結論

本研究で得られた結論を要約すると、以下のとおりである。

- (1) 地下水の浸透は遡上時における砂層の安定化、浸出は引き波時における砂層の不安定化に寄与し、その影響は大きい。そのため波打ち帯の地形変化の予測・評価には、地下水の浸透・浸出による影響を考慮する必要がある。
- (2) 透水層埋設による前浜地下水位の低下は、地下水の浸透流束を増大させ、浸出流束を抑制する。この結果、波打ち帯の浮遊砂の発生は抑制され侵食は軽減する。この効果は埋設密度83%において最も顕著となる。

参考文献

- 1) 宮武誠・近藤俊郎・藤間聡・川森晃：透水層埋設による前浜付近の浸透流特性，海岸工学論文集，第46巻，pp. 706-710，1999。
- 2) 宮武誠・藤間聡：透水層埋設による自然海浜侵食防止について，土木学会北海道支部論文報告集，第55号，pp194-

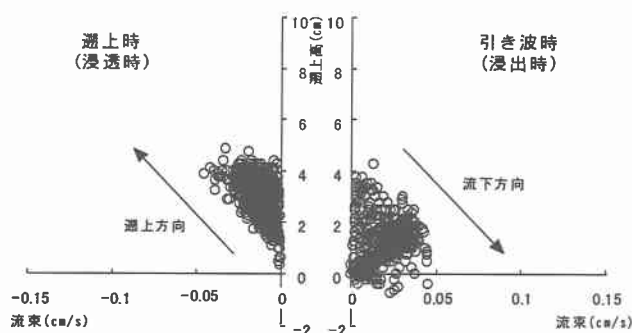
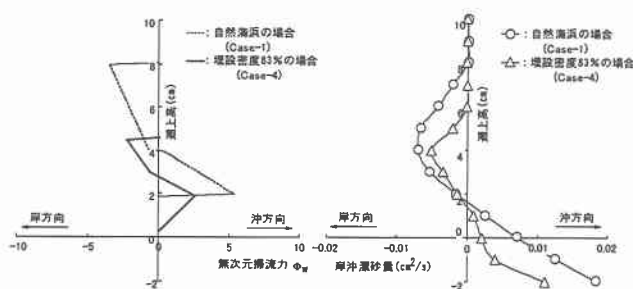


図-9 埋設密度83%の浸透・浸出流束分布(Case-4)



(a) 無次元掃流力

(b) 岸沖漂砂分布

図-10 無次元掃流力と岸沖漂砂分布比較

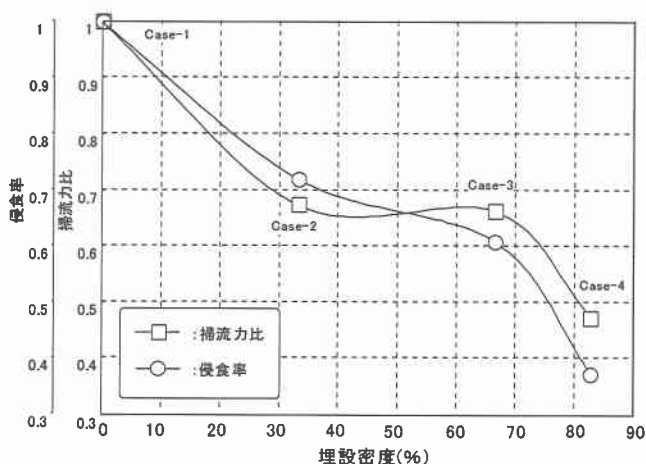


図-11 埋設密度による掃流力比及び侵食率の変化

198, 1999.

- 3) 宮武誠・藤間聡・川森晃：前浜浸透流が汀線侵食に及ぼす影響について，海岸工学論文集，第48巻，pp. 151-155，2001。

- 4) 宮武誠・藤間聡・近藤俊郎・川森晃：透水層埋設による海浜保全効果の水理特性について，土木学会北海道支部論文報告集，第56号，pp24-27，2000。

- 5) 藤間聡・宮武誠・山口俊哉・川森晃：自然海浜安定化に関する帯状透水層の平面配置，海岸工学論文集，第49巻，pp. 616-620，2002。